

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Балєв Володимир Миколайович

УДК 389.14:53.088.7

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ПОХИБОК
ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ
СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ**

Спеціальність 05.11.15 - метрологія та метрологічне забезпечення

Автореферат дисертації на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук

Харків - 1999

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Харківському державному політехнічному університеті Міністерства освіти України.

- Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Кондрашов Сергій Іванович,
Харківський державний політехнічний
університет, доцент кафедри
вимірювально-інформаційної техніки
- Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Клейман Олександр Самуїлович,
Харківський державний науково-дослідний
інститут метрології, начальник лабораторії
- кандидат технічних наук, доцент
Черепашук Григорій Олександрович,
Державний аерокосмічний університет
ім. Н.Е.Жуковського "ХАІ", доцент кафедри метрології
- Провідна установа: Національний технічний університет
України "КПІ", Міністерство освіти України, кафедра
автоматизації експериментальних досліджень

Захист відбудеться 2 березня 2000р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.050.09 у Харківському державному політехнічному університеті за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського державного політехнічного університету.

Автореферат розісланий 29.01.2000р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Горкунов Б.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Велика складність сучасних технологічних процесів, високі швидкості протікання процесів, необхідність контролю багатьох параметрів та виробки множини керуючих дій приводить до об'єднання технологічного процесу (ТП) та автоматизованої системи контролю та керування (АСКК), створюючи єдиний автоматизований технологічний комплекс. Характеристики цього комплексу визначають якість кінцевого продукту.

Підвищення ролі АСКК у процесі випуску виробів заданого рівня якості приводить до підвищення вимог до цієї системи. Враховуючи це, задача підтримки основних характеристик АСКК на заданому рівні є актуальною. Однак рішення цієї задачі наштовхується на великі труднощі. Це обумовлено довготерміновим та безперервним характером експлуатації сучасних АСКК, значними економічними витратами під час зупинки виробництва, безперервним зв'язком АСКК та ТП, просторовою розподільністю АСКК і впливом зовнішніх умов.

Найважливішою умовою ефективної роботи АСКК є підтримка стабільності метрологічних характеристик (МХ) вимірювальної підсистеми АСКК. Очевидно, що при порушенні цієї вимоги АСКК може привести ТП до непередбачених результатів. Це визначає необхідність введення до складу АСКК, які мають довготермінові, безперервні цикли роботи, підсистем самоконтролю, які б могли забезпечити задані МХ АСКК.

Вимоги до стабільності МХ ростуть настільки стрімко, що для забезпечення цих вимог необхідна розробка, як нових метрологічних концепцій, так і нової апаратури, що дозволить реалізувати контроль та відновлення МХ вимірювальної підсистеми АСКК у різних виробничих умовах. Задачі метрологічного забезпечення (МЗ) АСКК постійно привертають увагу вчених України, Росії та інших країн.

При проектуванні і, особливо, при експлуатації автоматизованих систем виникають нові "системні" проблеми метрологічного забезпечення, які поки що далекі від свого рішення. Засоби вбудованого контролю МХ вимірювальних каналів (ВК), на цей час, сприймаються як щось не основне, відірване від самої АСКК. Задачі МЗ ВК роздивляються як другорядні. Це пояснює відсутність методів контролю МХ ВК на діючих об'єктах, у реальних умовах експлуатації, що у свою чергу визначає слабкий розвиток відповідних технічних засобів.

Задача розробки нового системного підходу до питань МЗ ВК АСКК, розробки відповідних методів контролю та відновлення МХ ВК на об'єкті, без демонтажу ВК, вирішення питань метрологічного забезпечення такого контролю і створення технічних засобів контролю є складною і актуальною науково-технічною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами Робота виконана у

відповідності з планом науково - дослідних робіт ХДПУ на кафедрі вимірювально-інформаційна техніка у межах виконання робіт по держбюджетним темам М6101 "Дослідження методу відновлення точносних характеристик вимірювальних каналів АСК ТП і розробка мікропроцесорного блоку контролю точносних характеристик вимірювальних каналів АСК ТП на базі засобів МікроДАТ" і М6103 "Розробка давачів і модульних блоків комп'ютерних засобів контролю технологічних процесів з вбудованими системами діагностування і відновлення точносних характеристик" за напрямком досліджень Міністерства освіти України "Перспективні інформаційні технології, прилади комплексної автоматизації, системи зв'язку" та ініціативної тематики ХДПУ у 1988-1996 роках, а також у госпдоговірних роботах №№61353, 61564, 61756, 61979 виконаних сумісно з НВО САУ (м. Харків).

Мета і задачі дослідження Метою дисертаційної роботи є розробка методів та засобів контролю похибок вимірювальних каналів вимірювальних підсистем 1-го (нижнього) рівня ієрархічних АСКК. Контроль параметрів ВК повинен проводитись на об'єктах без демонтажу ВК, у реальних умовах експлуатації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити ряд складних науково-технічних задач у області теорії та практики метрологічного забезпечення автоматичних систем під час їх експлуатації:

- на основі аналітичного огляду сучасних АСКК ТП виявити особливості їх метрологічного забезпечення;
- провести аналіз методів та засобів забезпечення метрологічної надійності АСКК;
- розглянути необхідність введення спеціальної підсистеми самоконтролю АСКК - метрологічного спостерігача;
- визначити задачі і функції метрологічного спостерігача першого рівня АСКК;
- розробити алгоритм функціонування метрологічного спостерігача першого рівня АСКК;
- розробити модель ВК АСКК і відповідну модель похибок ВК;
- розробити методи визначення метрологічним спостерігачем статичних і динамічних параметрів ВК під час їх експлуатації з метою оцінки похибок ВК;
- оцінити якість функціонування метрологічного спостерігача за допомогою комп'ютерного і фізичного моделювання;
- розробити практичні схеми метрологічного спостерігача як мікропроцесорної підсистеми у складі АСКК різнобічного призначення.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що:

- отримала подальший розвиток концепція "метрологічного спостерігача" ієрархічних АСКК довготермінової безперервної дії. Основними функціями метрологічного спостерігача, на першому

рівні АСКК, є контроль і відновлення індивідуальних МХ вимірювальних каналів вимірювальної підсистеми АСКК, а також прогнозування змін МХ, з урахуванням дії різних впливових факторів (сезонність, змінність, старіння і т.і.).

- вирішена задача метрологічного забезпечення контролю МХ ВК з використанням тестових сигналів;
- розроблені методи та засоби, що дозволяють проводити контроль статичних і динамічних МХ ВК без демонтажу ВК з діючого обладнання.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що:

- введення до складу АСКК метрологічного спостерігача забезпечує її метрологічну надійність у заданому часовому інтервалі;
- розроблено апаратні засоби реалізації функцій безперервного контролю та відновлення МХ ВК, що дозволяє впровадити основні положення концепції метрологічного спостерігача АСКК у виробництві;
- зменшуються витрати на експлуатацію АСКК за рахунок підвищення якості продукції що виготовляється та виключення операцій демонтажу обладнання з метою контролю.

Особистий внесок здобувача

- визначені задачі метрологічного спостерігача на першому рівні АСКК;
- розроблені методи та засоби контролю ВК без демонтажу з діючого обладнання;
- розроблена модель аналогової частини ВК з уніфікованим токовим сигналом;
- розроблено алгоритм контролю параметрів ВК на основі проведених досліджень варіантів тестових випробувань;
- розроблено генератор спеціальних сигналів;
- визначені вимоги до основних параметрів системи контролю;
- проведено імітаційне моделювання процедури контролю.

Апробація результатів дисертації Основні положення і результати роботи доповідались на МНТК microCAD "Информационные технологии: наука, техни-ка, технология, образование, здоровье" (Харків, 1995р, 1996р., 1997р., 1998р) , НТК "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах та конверсії виробництва", (Хмельницький, 1995р.), МНТК "Контроль и управление в технических системах" (Вінниця, 1995г.) МНТК "Метрология в электронике" (Харків, 1997р.), "Actual problem of measuring technique", (Київ, 1998р.).

Публікації Основні положення дисертаційної роботи опубліковані у 5 статтях, 9 тезах доповідей і матеріалах конференцій.

Структура дисертації Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел з 95 найменувань та додатків, викладених на 216 сторінках. Робота

проілюстрована 63 рисунками (29 стор.) та 11 таблицями (8 стор.) і додатками на 30 сторінках.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі зазначена актуальність теми досліджень, показано зв'язок роботи з науковими темами, сформульовані мета та основні задачі дисертаційної роботи, визначені наукова новизна та практична цінність.

У першому розділі розглянута класифікація автоматизованих систем контролю та керування що використовуються у промисловості, виявлено тенденцію до ускладнення сучасних ТП, зростання "інтелектуального" рівня АСКК, підвищення об'єму вимірювальної інформації, що обробляється у АСКК, посилення вимог до вірогідності вимірювальної інформації.

Проведений аналіз стану МЗ АСКК дозволив визначити дві головні задачі МЗ АСКК. Перша задача - забезпечення виконання алгоритму контролю та керування ТП за рахунок досягнення необхідної точності вимірювань технологічних параметрів відповідними підсистемами АСКК. Ця задача вирішується для засобів вимірювальної техніки шляхом їх періодичної повірки, калібровки та градування. Друга задача набагато складніша. Вона зумовлена необхідністю забезпечення метрологічної надійності ВК та достовірності вимірювальної інформації, що необхідно для прийняття рішень, які забезпечують раціональне керування процесами експлуатації АСКК.

Комплексний підхід до вирішення двох основних вказаних задач привів до ідеї введення до складу АСКК спеціальної підсистеми - «метрологічного спостерігача» (МС) - багаторівневої ієрархічної підсистеми, що забезпечує безперервний контроль МХ підсистем АСКК і, в першу чергу, вимірювальної підсистеми, яка включає вимірювальні канали.

Впровадження метрологічного спостерігача потребує вирішення ряду теоретичних та технічних задач, спрямованих на забезпечення проведення контролю характеристик вимірювальної підсистеми АСКК безпосередньо на об'єкті, без її демонтажу, відновлення характеристик, а також коротко- і довготермінового прогнозування змін характеристик з метою більш обґрунтованого вибору міжповірочних інтервалів. При цьому контроль має виконуватись технічними засобами більш високої точності, порівняно з штатною системою.

В роботі розглядається задача МС першого рівня АСКК, що відповідає безперервному контролю та частковому відновленню МХ ВК.

У другому розділі розглянуто дії, що проводяться на усіх стадіях життя АСКК, спрямовані на забезпечення різних складових надійності. Важливою складовою загального поняття надійності системи є метрологічна надійність, яка визначає здатність системи та її компонентів зберігати

метрологічні характеристики приладів, вимірювальних каналів у заданих межах під час їх експлуатації.

Забезпечення метрологічної надійності пов'язано як із специфічним аналізом АСКК, так і з розробкою спеціальних методів та технічних засобів, для її забезпечення під час функціонування системи. Метрологічна надійність визначається характером зміни похибок пристроїв, вимірювальних каналів або систем.

В роботі розглянута задача забезпечення метрологічної надійності аналогових вимірювальних каналів вводу інформації в систему, що використовують уніфікований сигнал постійного струму. Для аналогових вимірювальних каналів характерні плавні зміни похибок у часі, викликані як внутрішніми причинами (наприклад, старіння елементів), так і від змін зовнішніх умов. Накопичування впливових факторів призводить до повільного дрейфу МХ, причому напрямок цього дрейфу далеко не завжди передбачуваний. Момент часу, в який похибка виходить за допустимі межі, визначає момент наступу метрологічної відмови. Складність задачі вияву метрологічної відмови полягає в тому, що зафіксувати точний час її появи практично неможливо, використовуючи лише існуючі методи періодичних перевірок вимірювальних каналів. Задача виявлення метрологічних відмов суттєво ускладнена специфікою експлуатації вимірювальних каналів АСКК у промислових умовах.

Використання в АСКК комутаторів для отримання необхідної інформації від відповідного вимірювального каналу за мінімальний час пов'язано з перехідними процесами у каналах та виникненням динамічних похибок. Ці обставини привели до необхідності розробки для АСКК моделей вимірювань які враховують динамічні похибки під час контролю МХ ВК.

На першому рівні ієрархічних АСКК МС вирішує задачі забезпечення метрологічної надійності аналогових ВК АСКК, згідно алгоритму функціонування, в якому виділені основні етапи:

- проведення контрольно-вимірювальних операцій по отриманню інформації про стан метрологічних характеристик ВК АСКК;
- обробка контрольно-вимірювальної інформації - визначення оцінок метрологічних характеристик ВК;
- прийняття рішень про необхідність корегування (відновлення) характеристик ВК за результатами порівняння отриманих оцінок з нормованими значеннями;
- виробка коротко- і довготермінових прогнозів зміни характеристик ВК з метою визначення наступного моменту проведення контролю і оцінки метрологічного стану вимірювальної підсистеми АСКК.

Інформація про оцінки параметрів ВК, отримана під час контролю, заноситься до

спеціального "архіву" метрологічного спостерігача і в подальшому використовується при розробці коротко- і довготермінових прогнозів зміни як індивідуальних характеристик ВК, так і вимірювальної підсистеми в цілому.

На першому рівні АСКК головною задачею МС є забезпечення достовірності інформації, що надходить від вимірювальної підсистеми. Основними вимогами до метрологічного спостерігача першого рівня АСКК є:

1. Можливість реалізації його основних функцій під час експлуатації АСКК без демонтажу обладнання що підлягає контролю;
2. Мінімальне відволікання обладнання АСКК від виконання основних функціональних задач пов'язаних з керуванням ТП;
3. Більш висока точність вимірювальних засобів МС порівняно з робочою (основною) системою. Можливість метрологічного обслуговування МС згідно вимог у галузі метрологічного забезпечення зразкових засобів вимірювання.

У аспекті метрологічних задач МС, сформульовані його основні функції на першому рівні АСКК:

- визначення метрологічного стану вимірювальної підсистеми першого рівня АСКК;
- прийняття рішення про придатність елементів вимірювальної підсистеми до виконання своїх функцій;
- пред'явлення характеристики метрологічного стану вимірювальної підсистеми і динаміки її розвитку обслуговуючому персоналу для прийняття рішень;
- локалізація метрологічних відмов та причин їх виникнення;
- отримання даних для прогнозування метрологічного стану вимірювальної підсистеми АСКК.

Вирішення поставлених задач потребує розробки нових методів контролю параметрів ВК та оцінки їх похибок.

У третьому розділі розроблено метод контролю метрологічних характеристик ВК АСКК під час їх експлуатації.

Структура типового ВК АСКК може бути представлена схемою, наведеною на рис.1. Вихідний сигнал первинного вимірювального перетворювача (ПВП) послідовно проходить через нормуючий перетворювач (НП), лінію зв'язку (ЛЗ), комутатор (КМ) і аналого-цифровий перетворювач (АЦП) поступаючи до цифрової частини системи.

На рис.2 наведена еквівалентна схема ВК з зазначенням джерел виникнення похибок. Вимірювана фізична величина $x_v(t)$ поступає на ПВП, вплив якого ураховано похибкою $e(t)$. На вхід аналогової частини ВК (АЧВК) поступає сигнал $x(t)$. Похибка $z(t)$ ураховує шуми аналогової частини ВК. Під аналоговою частиною ВК, тут і далі, розуміємо з'єднання масштабного

(нормуючого) перетворювача і лінії зв'язку до входу АЦП. Похибка $k(t)$ об'єднує шуми комутаційних елементів, зарядної ємності (у АЦП із запам'ятовуванням), дрейфу, нелінійності вхідних аналогових ланцюгів АЦП, а також похибки що виникають під час дискретизації і квантування безперервного аналогового сигналу.

Пунктирною лінією на рис.2 представлено ідеальний вимірювальний канал, який складається з ідеального аналогового перетворювача (АП_i) та ідеального аналого-цифрового перетворювача (АЦП_i). Похибки аналогового і аналого-цифрового перетворення можуть бути подані як різниця перетворень у ідеальному та реальному ВК і мають вигляд:

$$\begin{aligned}\Delta y(t) &= y_i(t) - y(t) \\ \Delta N &= N_i(t_j) - N(t_j + \Delta t_d)\end{aligned}$$

Наведені моделі похибок ВК дозволили визначити головні джерела похибок і запропонувати методи передачі розміру фізичних величин під час контролю ВК. Для визначення похибок ВК, обумовлених відхиленням реальної функції перетворення від номінальної було обрано метод тестових сигналів, за яким на вхід ВК, разом з вимірюваною величиною x подається один або декілька тестових сигналів, пов'язаних з x відомою функціональною залежністю.

На рис.3 наведена блок схема контролю параметрів АЧВК з використанням адитивного тестового сигналу $A1=x+Q$, де Q - незмінна величина, яка не залежить від x і формується блоком адитивних тестів (БАТ); мультиплікативного тестового сигналу $A2=x(K+1)$, де K - незалежний від x коефіцієнт перетворення, який формується блоком мультиплікативних тестів (БМТ).

Різні сполучення станів ключів Кл1 і Кл2 під час проведення контролю в статичному режимі дозволяють отримати систему лінійних рівнянь, за умови якщо функція перетворення АЧВК описується рівнянням $y=a_1+a_2 x$:

$$\begin{cases} y_0 = a_1 + a_2 x \\ y_1 = a_1 + a_2 (x + Q) \\ y_2 = a_1 + a_2 (K + 1)x \end{cases} \quad x = \frac{(y_2 - y_0) Q}{(y_1 - y_0) K} \quad (1)$$

Результати вимірювань, отримані під час контролю, використовуються для визначення значень коефіцієнтів функції перетворення a_1, a_2 за допомогою наступних рівнянь:

$$a_1 = y_0 - \frac{y_2 - y_0}{K} \quad a_2 = \frac{y_1 - y_0}{Q} \quad (2)$$

Отримані коефіцієнти a_1, a_2 передаються до АСКК для визначення значень вхідних сигналів ВК за результатами вимірювання під час проведення штатних вимірювань:

$$x = (y - a_1) / a_2$$

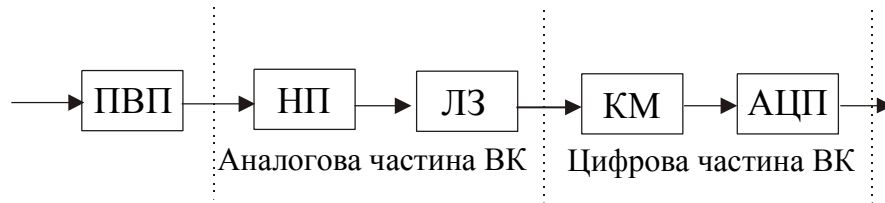


Рис. 1 Структура типового вимірювального каналу

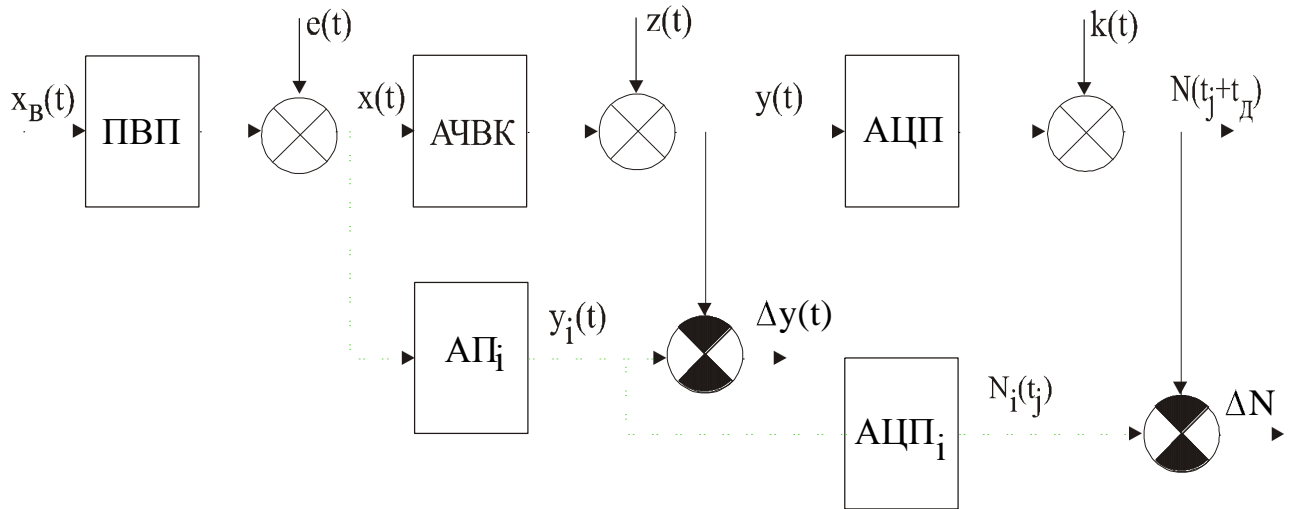


Рис. 2 Еквівалентна схема вимірювального каналу

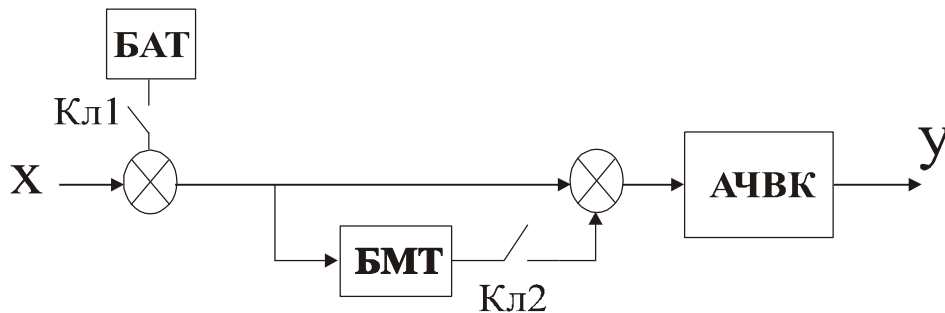


Рис. 3 Схема контролю АЧВК з використанням тестових сигналів

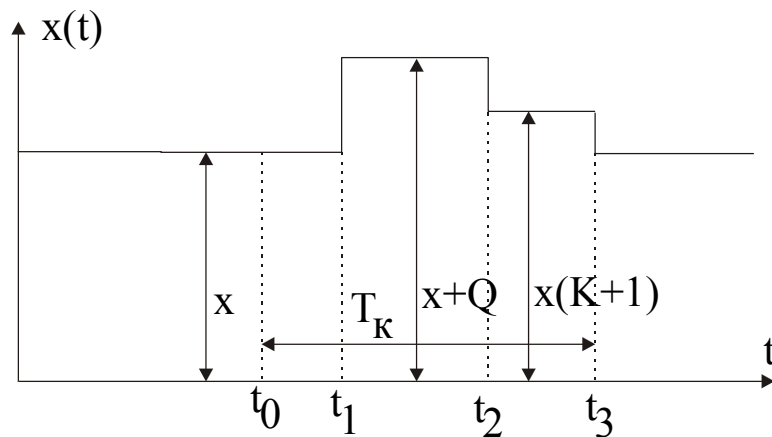


Рис. 4 Вхідний сигнал АЧВК при контролі з використанням тестових сигналів у динамічному режимі

Загальна кількість тестових сигналів, які використовуються під час контролю, залежить від вигляду апроксимуючого поліному функції перетворення ВК. Таким чином контроль з використанням тестових сигналів, дозволяє визначити реальні МХ АЧВК.

Контроль похибок цифрової частини ВК здійснюється шляхом одночасного вимірювання сигналу $y(t)$, вихідного сигналу АЧВК, робочим АЦП_р і зразковим АЦП_з, таким чином реалізовано відомий метод зразкового засобу вимірювання.

При динамічному режимі проведення тестового контролю, для визначення реакції АЧВК на тестові сигнали без вимикання вхідного сигналу, АЧВК моделювалась інерційним зеном першого рівня з передаточною функцією

$$G(p) = \frac{K_H}{Tp + 1} \quad (3)$$

де K_H - номінальний статичний коефіцієнт перетворення; T - стала часу.

За модель вхідного сигналу обрано модель лінійно змінного сигналу:

$$x(t) = at + b \quad (4)$$

де a - швидкість зміни вхідного сигналу; b - початкове значення вхідного сигналу при $t=0$.

Вхідний сигнал АЧВК, при контролі з використанням тестових сигналів у динамічному режимі, може бути представлений наступними рівняннями, рис.4:

$$x_1(t) = \begin{cases} x(t), & t_0 < t \leq t_1 \\ x(t) + Q, & t_1 < t \leq t_2 \\ x(t)(K + 1), & t_2 < t \leq t_3 \end{cases} \quad (5)$$

Зображення вхідного сигналу АЧВК у операторному вигляді представимо:

$$x_1(p) = \frac{a}{p^2} + \frac{b}{p} + \frac{Q}{p} (1 - e^{-p(t_2-t_1)}) e^{-pt_1} + K \left(\frac{a}{p^2} + \frac{b}{p} \right) (1 - e^{-p(t_3-t_2)}) e^{-pt_2} \quad (6)$$

Вихідний сигнал АЧВК визначимо як добуток вхідного сигналу на передаточну функцію, рис.5:

$$y(p) = x_1(p) G(p) \quad (7)$$

Тоді зображення вихідного сигналу АЧВК

$$y(p) = \left[\frac{a}{p^2} + \frac{b}{p} + \frac{Q}{p} (1 - e^{-p(t_2-t_1)}) e^{-pt_1} + K \left(\frac{a}{p^2} + \frac{b}{p} \right) (1 - e^{-p(t_3-t_2)}) e^{-pt_2} \right] \frac{K_H}{Tp + 1} \quad (8)$$

Оригінал функції (8) у часовій області запишемо у вигляді:

$$\begin{aligned}
y(t) = & K_H a t - K_H a T + K_H b + K_H a T e^{-\frac{t}{T}} + K_H \Phi(t-t_1) [Q(1 - e^{-\frac{t-t_1}{T}}) - \\
& - \Phi(t-t_2) Q(1 - e^{-\frac{t-t_2}{T}})] + K_H K \Phi(t-t_2) [-aT + b + a(t-t_2) + aT e^{-\frac{t-t_2}{T}} - \\
& - b e^{-\frac{t-t_2}{T}} - \Phi(t-t_3) (-aT + b + a(t-t_3) + aT e^{-\frac{t-t_3}{T}} - b e^{-\frac{t-t_3}{T}})]
\end{aligned} \quad (9)$$

де $\Phi(\bullet)$ - функція Хевісайда, яка приймає одиничне значення для усіх додатних аргументів та обертається у нуль для інших значень аргументу.

Середні значення вихідних сигналів на усіх інтервалах контролю при проведенні багаторазових вимірювань, за умови, що усі інтервали контролю T_k рівні поміж себе і на кожному інтервалі вміщується $n = T_k / T_1$, відліків мають вигляд:

$$\left\{ \begin{aligned}
\bar{y}_0 &= \underbrace{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n K_H b}_{y_{0d}} + \underbrace{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(K_H a k T_1 + K_H a T \left(e^{-\frac{k T_1}{T}} - 1 \right) \right)}_{\Delta 0_{dyn}} + \underbrace{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta_{KB}}_{\Delta 0c} \\
\bar{y}_1 &= \underbrace{\frac{1}{n} \sum_{k=n+1}^{2n} K_H}_{y_{1d}} + Q + \underbrace{\frac{1}{n} \sum_{k=n+1}^{2n} K_H \left(a k T_1 + a T \left(e^{-\frac{k T_1}{T}} - 1 \right) - Q e^{-\frac{k T_1 - t_1}{T}} \right)}_{\Delta 1_{dyn}} + \underbrace{\frac{1}{n} \sum_{k=n+1}^{2n} \Delta_{KB}}_{\Delta 1_{stat}} \\
\bar{y}_2 &= \underbrace{\frac{1}{n} \sum_{k=2n+1}^{3n} K_H b + K_H K b}_{y_{2d}} + \underbrace{\frac{1}{n} \sum_{k=2n+1}^{3n} \Delta_{KB}}_{\Delta 2_{stat}} + \\
& + \underbrace{\frac{1}{n} \sum_{k=2n+1}^{3n} K_H \left(a k T_1 + K a (k T_1 - t_2) + a T \left(e^{-\frac{k T_1}{T}} - (K+1) \right) + \right.}_{\Delta 2_{dyn}} \\
& \left. + Q \left(e^{-\frac{k T_1 - t_2}{T}} - e^{-\frac{k T_1 - t_1}{T}} \right) + K (a T - b) e^{-\frac{k T_1 - t_2}{T}} \right)}_{\Delta 2_{dyn}}
\end{aligned} \right. \quad (10)$$

У запису середніх значень, отриманих на кожному інтервалі контролю, виділені три складові: дійсне значення вимірюваної величини, динамічна складова похибки, яка визначається динамічними характеристиками АЧВК і швидкістю зміни вхідного сигналу під час проведення процедури контролю, і статична складова похибки, яка обумовлена точністю АЦП, що використовується під час контролю.

Результати непрямих вимірювань a_1 і a_2 можемо визначити згідно (2) як

$$a_1 = \bar{y}_0 - (\bar{y}_2 - \bar{y}_0) K^{-1} \quad a_2 = \bar{y}_1 Q^{-1} - \bar{y}_0 Q^{-1} \quad (11)$$

На точність визначення коефіцієнтів функції перетворення суттєво впливають похибки, що виникають при проведенні процедури контролю. Підвищення точності визначення коефіцієнтів функції перетворення можливо за умови введення поправок на динамічну та статичну складові похибки.

За умови відсутності складової динамічної похибки від зміни вхідного сигналу під час проведення контролю, $a=0$, та однаковості статичних похибок на усіх інтервалах контролю можемо записати

$$a_{1P} = a_1 + \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta_{KB} = \frac{1}{K} \sum_{k=2n+1}^{3n} \left(K_H (Q(e^{-\frac{kT_1-t_2}{T}} - e^{-\frac{kT_1-t_1}{T}}) - K_b e^{-\frac{kT_1-t_2}{T}}) \right) \quad (12)$$

$$a_{2P} = a_2 - \frac{1}{Q} \sum_{k=n+1}^{2n} K_H Q e^{-\frac{kT_1-t_1}{T}}$$

Похибка визначення a_2 визначається тільки динамічною складовою похибки вимірювання на другому інтервалі контролю. У формуванні похибки визначення a_1 приймає участь як статична складова, яка виникає на першому інтервалі контролю, так і динамічна складова похибки вимірювання під час подачі на вхід АЧВК мультиплікативного тестового сигналу.

Похибка визначення a_1 може бути знайдена із співвідношення:

$$\Delta a_1 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta_{KB} = \frac{K_H T_1 (\exp(-\frac{T_k}{T}) - \exp(-\frac{2T_k}{T}))}{K T_k (\exp(\frac{T_1}{T}) - 1)} (Q + (K_b - Q) \exp(\frac{T_k}{T})) \quad (13)$$

Абсолютна похибка визначення a_1 залежить як від статичної так і від динамічної складової похибки. Динамічна складова визначається, в основному, різницею амплітуд мультиплікативного і адитивного тестових сигналів $(K_b - Q)$ та співвідношенням часу інтервалу контролю до сталої часу АЧВК. Введення поправок на динамічну складову похибки дозволяє зменшити похибку визначення коефіцієнта a_1 . Розрахунок поправки на динамічну складову похибки потребує знання сталої часу АЧВК.

Похибку визначення коефіцієнту a_2 можемо представити у вигляді

$$\Delta a_2 = -\frac{1}{Q} \sum_{k=n+1}^{2n} K_H Q e^{-\frac{kT_1-t_1}{T}} = \frac{K_H T_1 (\exp(-\frac{T_k}{T}) - 1)}{T_k (\exp(\frac{T_1}{T}) - 1)} \quad (14)$$

Аналіз формули (14) показав, що динамічна складова похибки визначення a_2 визначається сталою часу АЧВК, шагом дискретизації та довжиною інтервалів контролю. Зменшення відносної похибки визначення a_2 апаратними засобами може бути отримано шляхом збільшення часу контролю T_k . Для реалізації у МС програмного способу підвищення точності визначення a_2 , шляхом введення поправки також необхідне знання сталої часу АЧВК та коефіцієнта передачі. Для підвищення точності поправок процедурі контролю статичних характеристик ВК повинна передувати процедура визначення сталої часу АЧВК.

Якщо під час проведення процедури контролю вхідний сигнал змінюється, то для введення поправок на динамічну складову похибки другого роду, необхідно додатково визначити швидкість зміни вхідного сигналу під час проведення процедури контролю. Для цього необхідно ввести додатковий інтервал контролю, на якому буде вимірюватись значення вхідного сигналу після подачі тестових сигналів.

У четвертому розділі розглянуто метод контролю АЧВК типової, широко розповсюдженої на практиці структури з статичним перетворювачем напруги вхідного сигналу в уніфікований сигнал постійного струму на базі операційного підсилювача. Показано, що АЧВК, головним елементом якого є перетворювач напруги в уніфікований сигнал постійного струму, схема якого наведена на рис.6, може бути представлена моделлю інерційного звена першого рівня з коефіцієнтом передачі K_1 і сталою часу T . Визначено, що головними елементами

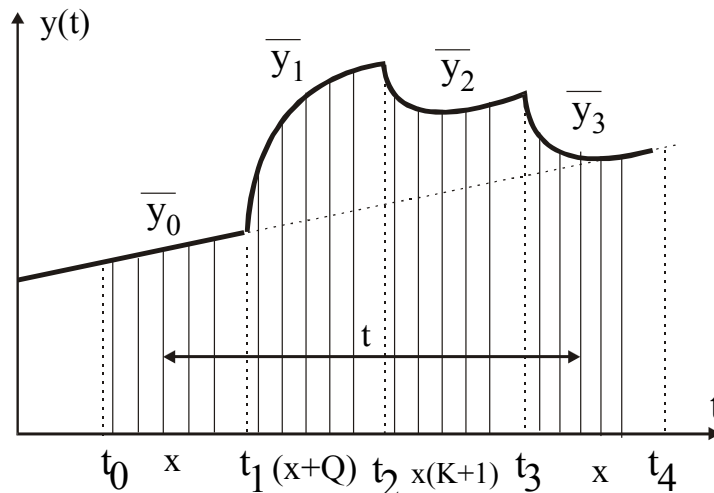


Рис. 5 Вихідний сигнал АЧВК під час проведення контролю на змінному вхідному сигналі

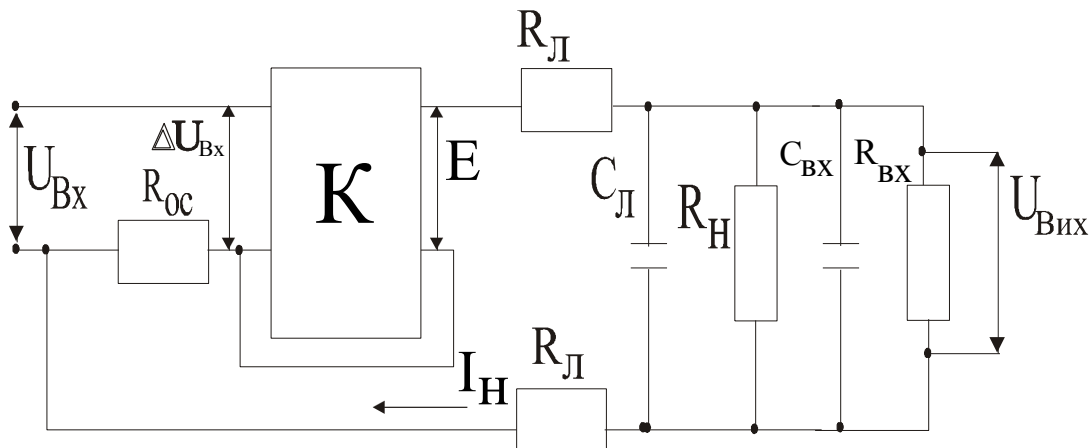


Рис. 6 Статичний перетворювач напруги в уніфікований сигнал постійного струму на базі операційного підсилювача

АЧВК, які впливають на коефіцієнт передачі АЧВК, є паралельне з'єднання опору навантаження R_H та вхідного опору АЦП R_{BX} і опору зворотного зв'язку R_{OC} . Стала часу АЧВК, головним чином,

визначається сумарною ємністю лінії C_L та вхідної ємності АЦП $C_{ВХ}$, а також паралельним з'єднанням опору навантаження та вхідного опору АЦП. Таким чином

$$K_{АЧВК}(p) = \frac{K_1}{T_p + 1}$$

Просторова розподіленість АЧВК зумовлює наявність зовнішніх впливових факторів, які призводять до дрейфу параметрів елементів АЧВК у часі. Це, в свою чергу, призводить до зміни параметрів моделі АЧВК. Знання реальних параметрів АЧВК дозволяє проводити дії, спрямовані на адаптацію АСКК до змін, що виникають у вимірювальній підсистемі АСКК.

Для визначення сталої часу АЧВК проведено теоретичні розрахунки характеру перехідних процесів, що виникають під час дії випробувальних сигналів на перетворювач напруги в уніфікований сигнал постійного струму. Розглянуто можливість формування випробувального сигналу - одиначної сходинки - шляхом комутації сигналу ПВП. Запропоновано проводити визначення сталої часу за перехідним процесом, отриманим внаслідок комутації ланцюга зворотного зв'язку перетворювача. Це дозволяє уникнути необхідності розміщення комутатора на вході НП і використання додаткових ліній зв'язку для його керування. В дисертації показано, що характер перехідних процесів при комутації ланцюга зворотного зв'язку, коли комутатор розташовується в безпосередній близькості від опору навантаження, визначається, головним чином, опором навантаження перетворювача R_H , вхідним опором АЦП $R_{ВХ}$, ємністю лінії C_L та вхідною ємністю АЦП $C_{ВХ}$. Запропонований спосіб дозволяє визначити сталу часу АЧВК. Імітаційне комп'ютерне моделювання підтвердило отримані теоретичні розрахунки.

Операція розриву ланцюга зворотного зв'язку супроводжується появою на виході операційного підсилювача перетворювача максимально можливої напруги, напруги насичення. Ця особливість перетворювача була використана для керування генератором тестових сигналів. Запропонована схема генератора має у своєму складі детектор рівня вихідного сигналу операційного підсилювача, який визначає появу факту розриву ланцюга зворотного зв'язку перетворювача та забезпечує запуск схеми керування генератора, що призводить до видачі тестових сигналів у заздалегідь обраній темпі. Це забезпечує єдиний відлік часу при проведенні процедури контролю.

У п'ятому розділі описана структурна схема метрологічного спостерігача першого рівня АСКК, як мікропроцесорної підсистеми у складі АСКК різного призначення, надані рекомендації з вибору елементної бази. Запропоновані два варіанти функціональної схеми генератору спеціальних сигналів, який забезпечує подачу на вхід ВК тестових та випробувальних сигналів.

Проведене комп'ютерне моделювання процедури контролю параметрів ВК дозволило визначити вимоги до апаратної частини МС. Аналіз результатів моделювання дозволив зробити

висновок про достатність використання у МС 14 розрядного АЦП з шагом дискретизації 10-20 мкс і рекомендувати 50 разову процедуру проведення вимірювань під час контролю для зменшення випадкової складової похибок оцінок МХ ВК. Введення поправок на динамічну складову похибки під час проведення обробки контрольно-вимірювальної інформації дозволило суттєво підвищити точність визначення коефіцієнту передачі К1.

Для оцінки ефективності використання МС було проведено комп'ютерне моделювання процесів зміни параметрів перетворювача напруги в уніфікований сигнал постійного струму на протязі одного року. Використання МС дозволило виявити зміни параметрів перетворювача. Визначена необхідність використання змінного коефіцієнту передачі К1, який приймає участь у формуванні поправок. Запропоновано для цього використовувати його значення отримане під час проведення останнього контролю.

Висновки

1. Системний підхід до вирішення задач МЗ ієрархічних АСКК довготермінової безперервної дії визначив необхідність впровадження до складу АСКК спеціальної підсистеми - метрологічного спостерігача, основною задачею якого є вирішення задач метрологічного забезпечення АСКК, забезпечення метрологічної надійності вимірювальної підсистеми АСКК.
2. Визначено, що забезпечення метрологічної надійності аналогової частини ВК є однією з головних задач МС. Її важливість обумовлена наявністю дрейфу характеристик АЧВК у часі та безумовним зростанням похибок під час експлуатації ВК. Як основні визначені такі функції метрологічного спостерігача на першому рівні АСКК: контроль та відновлення індивідуальних МХ ВК, оцінка стану вимірювальної системи в цілому, прогнозування змін МХ з урахуванням впливових факторів.
3. Розроблено метод контролю статичних та динамічних метрологічних характеристик АЧВК у динамічному режимі для каналів з дискретно-квантованими сигналами. Визначено, що процедура контролю параметрів ВК в динамічному режимі, з використанням тестових сигналів, супроводжується виникненням динамічних похибок, зумовлених зміною під час проведення процедури контролю робочого сигналу та інерційними властивостями АЧВК. Підвищення точності визначення статичних параметрів ВК можливо шляхом введення поправок на динамічну складову похибки, що дозволяє розглядати систему контролю як ніби статичну.
4. Введення поправок зумовлює необхідність проведення контролю динамічних характеристик ВК і робочого сигналу на діючому ВК без його демонтажу з діючого обладнання. Для визначення сталої часу ВК з уніфікованим сигналом постійного струму запропоновано новий спосіб створення

випробувального сигналу шляхом комутації ланцюга зворотного зв'язку перетворювача. Проведені дослідження характеру перехідних процесів у перетворювачі довели можливість ідентифікації сталої часу АЧВК.

5. Вирішення задачі апаратного забезпечення методу контролю параметрів ВК дозволило запропонувати схему генератора спеціальних сигналів, що керується без використання додаткових ліній зв'язку та забезпечує формування тестових та випробувальних сигналів.

6. На прикладі ВК з перетворювачем вхідного сигналу напруги в уніфікований сигнал постійного струму доведена можливість практичного застосування запропонованого методу контролю параметрів АЧВК, коефіцієнта передачі та сталої часу.

7. Комп'ютерне моделювання процедури контролю статичних та динамічних параметрів ВК показало високу ефективність використання поправок на динамічну похибку при визначенні статичних параметрів ВК і дозволило визначити вимоги до апаратної частини метрологічного спостерігача (розрядність та швидкодію АЦП, число вимірювань і т.і.). Комп'ютерне моделювання дрейфу параметрів ВК на протязі одного року показало високу ефективність використання МС.

8. Проведене фізичне моделювання процедури контролю параметрів АЧВК підтвердило результати отримані під час теоретичних розрахунків і при проведенні комп'ютерного моделювання. Це дає підставу стверджувати про адекватність теоретичної та фізичної моделі ВК.

9. Вирішення задачі метрологічного забезпечення тестового контролю АЧВК у динамічному режимі для каналів з дискретно-квантованим представленням сигналів дозволяє підвищити рівень метрологічної надійності вимірювальної підсистеми АСКК шляхом періодичного контролю МХ ВК на місці експлуатації без демонтажу ВК.

Список основных опубликованных работ

1. Балеv В.Н. Особенности метрологического обеспечения автоматизированных систем контроля и управления. //Вестник ХГПУ. - Вып.12. - 1998. - С. 89-91
2. Балеv В.Н. Построение модели изменения погрешностей измерительных каналов // Вестник ХГПУ. - Вып.42. - 1999. - С. 39-41
3. Балеv В.Н. Оценка погрешностей определения параметров измерительных устройств в динамическом режиме контроля // Вестник ХГПУ. - Вып.64. - 1999. - С. 128-131
4. Балеv В.Н. Контроль динамических характеристик преобразователей напряжение- ток. // Вестник ХГПУ. - Вып.56. - 1999. - С. 75-78

5. Скрипник Ю.А., Химичева А.И., Кондрашов С.И., Балев В.Н. Система для поверки термоэлектрических термометров в динамическом режиме // Вестник ХПИ. - №14. - 1993. - С. 103-106
 Автором розроблена структурна схема системи повірки термометрів на базі елементів МікроДАТ
6. Диденко К.И., Кондрашов С.И., Балык С.С, Балев В.Н., Скрипник Ю.А, Орнатский П.П. Концепция рассмотрения метрологических задач в системах контроля и управления технологическими процессами. // Материалы МНТК "Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье". Ч.1. - Харьков. - 1995. - С.165
 Автору належить визначення особливостей метрологічного забезпечення систем контролю та керування технологічних процесів тривалої дії.
7. Диденко К.И., Кондрашов С.И., Балев В.Н., Свищева З.С. Модель динамических погрешностей измерительных цепей систем контроля и управления. // Тезисы докладов III МНТК "Контроль и управление в технических системах". - Винница. - 1995. - С. 172
 Автором запропоновано в якості моделі аналогової частини вимірювального каналу використати модель інерційного звена.
8. Диденко К.И., Кондрашов С.И., Балев В.Н. Принципы организации динамического контроля систем // Сборник материалов III НТК "Измерительная и вычислительная техника в технологических процессах и конверсии производства". - Хмельницкий. - 1995. - С.155
 Автору належить ідея проведення процедури контролю метрологічних характеристик вимірювальних каналів у динамічному режимі
9. Балев В.Н., Свищева З.С., Ермаловская Л.П. Система динамического контроля метрологических характеристик измерительного канала // Материалы МНТК "Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье". - Ч.2. - Харьков. - 1996. - С. 5
 Автором запропонована структурна схема системи контролю характеристик вимірювальних каналів
10. Балев В.Н. Микропроцессорная подсистема метрологического контроля.
 // Труды МНТК "Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье". - Ч.5. - Харьков. - 1997. - С. 8-10
11. Балев В.Н. Функции метрологического наблюдателя первого уровня автоматических систем контроля и управления //Труды МНТК "Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье". - Ч.5. - Харьков. - 1997. - С. 11-13
12. Балев В.Н. Контроль и восстановление точностных характеристик измерительных каналов

АСКУ // Труды конференции "Метрология в электронике - 97". - Т.2, - Харьков, - 1997. - С. 181-183

13. Диденко К.И., Кондрашов С.И., Балеv В.Н. Статическая метрологическая и ситуационная модели измерительного канала АСКУ // Сборник научных трудов ХГПУ. - Вып.6. - Ч.1. - 1998. - С. 379-383

Автором розроблено алгоритм функціонування метрологічного спостерігача на першому рівні АСКК.

14. Didenko K.I., Kondrashov S.I., Balev V.N. The conception of metrological assurance of intellectual control systems // Actual problem of measuring technique "Measurement-98" Proceeding of the international conference/ - Kyiv: NTUU "KPI", AUS DAAD, 1998. -P.226-227

Автором визначені основні задачі метрологічного спостерігача на першому рівні ієрархічних автоматизованих систем контролю та керування.

Анотації

Балеv В.М. Методи та засоби контролю похибок вимірювальних каналів автоматизованих систем контролю та керування. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.15 - метрологія та метрологічне забезпечення. Харківський державний політехнічний університет, Харків, 1999.

Дисертація присвячена розробці методів та засобів контролю параметрів вимірювальних каналів систем контролю та керування без демонтажу з діючого обладнання. Розроблено методику визначення параметрів вимірювальних каналів з використанням тестових сигналів на робочому сигналі. Запропоновані методи зменшення динамічної складової похибки визначення параметрів каналів. Надано практичні рекомендації по реалізації спеціалізованої підсистеми - метрологічного спостерігача - яка відповідає за контроль та відновлення характеристик вимірювальних каналів. Впровадження метрологічного спостерігача дозволяє підвищити вірогідність інформації про стан об'єкту керування та якість продукції що виготовляється. Основні результати отримані в дисертації впроваджені на НВО САУ (м. Харків) і в учбовому процесі на кафедрі «Вимірювально-інформаційна техніка» ХДПУ.

Ключові слова: метрологічне забезпечення, вимірювальний канал, метрологічні характеристики, метрологічний спостерігач, динамічна похибка.

Balev V.N. Methods and means of checking of measuring channels of automated systems of control and handle. - Manuscript.

Thesis for a candidate's degree by speciality 05.11.15 - metrology and metrological assurance. The Kharkov State Polytechnic University, Kharkov, 1999.

Thesis is devoted to developing of methods and means of control parameters of measuring channels of automated systems of control and handle. The method of definition control parameters of measuring channels on working signals is developed. Methods of decreasing dynamic errors of detecting channels parameters are proposed. Practical recommendation for developing special subsystem metrological observer are given. Its main task are control and repairing characteristics of measuring channels.

Developing of metrological observer allows increase reliability of gained information and quality of ejected products. The main results are implanted at Scientific Production Corporation of Automated Control System (Kharkov) and at the department of «Measuring and information technique» of KSPU.

Key words: metrological assurance, measuring channel, metrological characteristics, metrological observer, dynamic error.

Балев В.Н. Методы и средства контроля погрешностей измерительных каналов автоматизированных систем контроля и управления. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.15 - метрология и метрологическое обеспечение. Харьковский государственный политехнический университет, Харьков, 1999.

Диссертация посвящена разработке методов и средств контроля параметров измерительных каналов автоматизированных систем контроля и управления без демонтажа каналов с действующего оборудования. Длительные, без останова, регламенты проведения современных технологических процессов требуют новых подходов к решению задачи обеспечения метрологической надежности измерительных средств входящих в состав автоматизированных систем контроля и управления. Традиционные методы контроля метрологических характеристик не позволяют своевременно выявлять и устранять метрологические отказы возникающие при эксплуатации средств измерений.

Это приводит к целесообразности введения в состав автоматизированных систем контроля и управления (АСКУ) специализированной подсистемы - метрологического наблюдателя, на которую будет возложено решение задачи контроля и частичного восстановления метрологической надежности АСКУ. Метрологический наблюдатель, выступает источником

информации, используемой для организации процесса эксплуатации АСКУ. При этом контроль метрологических характеристик измерительных каналов АСКУ становится одной из основных задач интеллектуального потенциала метрологического наблюдателя. Причем объем этой задачи растет с общим ростом функциональных задач АСКУ. Прекращать контроль параметров измерительных каналов целесообразно лишь на определенные промежутки времени, в течение которых, с достаточной достоверностью, можно использовать данные, накопленные метрологическим наблюдателем в предшествующие моменты времени и гарантировать нормальную работу измерительной подсистемы АСКУ.

Главной задачей метрологического наблюдателя на первом уровне АСКУ является обеспечение достоверности информации, поступающей от измерительной подсистемы АСКУ, путем контроля параметров измерительных каналов (ИК), связывающих первичные измерительные преобразователи, установленные на объекте, с цифровыми устройствами обработки информации на первом уровне АСКУ.

На этапе контроля параметров ИК метрологический наблюдатель формирует управляющие воздействия на вход генератора образцовых сигналов для получения заданных аналоговых сигналов на входах контролируемого ИК, и определяет реакцию ИК на тестовые сигналы. В работе определены процедуры получения оценок параметров ИК. Выяснено, что в процессе контроля статических характеристик без отключения сигналов от сенсоров возникают динамические погрешности, определяемые динамическими свойствами ИК и динамическими характеристиками входного сигнала во время проведения процедуры контроля. Проведение контроля в динамическом режиме требует введения поправок на динамическую составляющую погрешности.

Для передачи измерительной информации в современных АСКУ широко применяются преобразователи с выходным унифицированным токовым сигналом. В работе разработана модель аналоговой части ИК, включающей нормирующий преобразователь, линию связи и входную цепь АЦП. В соответствии с этой моделью, определена необходимость контроля коэффициента передачи K_1 и постоянной времени T .

Проведенный анализ характера переходных процессов в цепи нагрузки преобразователя напряжение - токовый сигнал при коммутации цепи отрицательной обратной связи (ООС) преобразователя позволил сделать вывод об идентичности переходного процесса на нагрузке при коммутации входного сигнала и цепи отрицательной обратной связи. Это позволяет формировать ступенчатый испытательный сигнал путем коммутации цепи ООС преобразователя.

Разработанная процедура контроля ИК, с использованием генератора специальных сигналов, не требует дополнительных линий связи между генератором и центральной частью

метрологического наблюдателя. Процедура контроля осуществляется путем подачи испытательных и тестовых сигналов с генератора специальных сигналов на вход аналоговой части контролируемого канала. Знание действительных параметров модели аналоговой части ИК, статических и динамических, позволяет произвести восстановление метрологических характеристик ИК. Использование динамических параметров позволяет уменьшить влияние динамической погрешности на точность определения контролируемого параметра при проведении штатных измерений.

В работе даны практические рекомендации по реализации специализированной подсистемы - метрологического наблюдателя - отвечающего за контроль и восстановление характеристик измерительных каналов. Внедрение метрологического наблюдателя позволяет повысить достоверность получаемой информации о состоянии объекта управления и качество выпускаемой продукции.

Результаты полученные в диссертации внедрены на НПО САУ (г.Харьков) и в учебном процессе на кафедре «Измерительно-информационная техника» ХГПУ.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, измерительный канал, метрологические характеристики, метрологический наблюдатель, динамическая погрешность.